

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 21 (1948)  
**Heft:** V

**Artikel:** Quantitative Autoradiographie  
**Autor:** Zuber, K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-111915>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Quantitative Autoradiographie

von K. Zuber (Istanbul).

(28. VI. 1948.)

*Zusammenfassung:* Es wird untersucht, wie weit sich die Autoradiographie quantitativ verwenden lässt und diskutiert, unter welchen Umständen diese Methode der Zählrohranordnung überlegen sein kann. Dies ist der Fall, wenn ein radioaktives Präparat kleiner Ausdehnung vorliegt, welches eine geringe Zahl von  $\beta$ -Strahlen pro Sekunde emittiert. Dabei hat aber die Gesamtzahl der  $\beta$ -Strahlen so gross zu sein, dass durch sie eine photographische Wirkung erzielt werden kann: die Halbwertszeit des Strahlers muss somit gross sein. Es wird gezeigt, dass für die Einwirkung der  $\beta$ -Strahlen von  $\text{Au}^{198}$  auf einen Röntgenfilm das Reziprozitätsgesetz nahezu erfüllt ist. Daher lassen sich durch Verschiebung eines durch Neutronen aktivierten Goldstückes auf dem Film leicht Intensitäts-Schwärzungsmarken herstellen. Die Halbwertszeit von  $\text{Au}^{198}$  wird mit der Autoradiographie zu  $(2,77 \pm 0,06)$  Tage bestimmt. Legt man mehrere Filme aufeinander und beidseitig einer aktivierten Substanz, so erhält man damit nicht nur gleichzeitig mehrere Autoradiographien, sondern es ergibt sich auch der Absorptionskoeffizient der  $\beta$ -Strahlen. Für die  $\beta$ -Strahlen von  $\text{Au}^{198}$  wurde dieser zu  $21,1 \text{ cm}^2/\text{g}$  bestimmt.

§ 1. Um die Verteilung von Neutronen in einem Moderator zu ermitteln, verwendet man meist die Aktivierungsmethode. Es werden Proben eines geeigneten Materials an verschiedenen Stellen durch den  $(n, \gamma)$ -Prozess aktiviert und die Aktivität nachher mit dem Zählrohr gemessen. Damit die Neutronenverteilung durch die Proben, welche natürlich Neutronen absorbieren, nicht zu stark verändert wird, müssen Proben kleiner Grösse verwendet werden. Diese Bedingung ist für die Zählrohrmethode ein Nachteil, es sei denn, dass die Neutronenflüsse und damit die Aktivität sehr gross sind. Denn die Stosszahl nimmt proportional mit der Fläche des aktivierten Materials ab, die Nullstösse des Zählrohrs bleiben aber konstant. Ferner ist es nicht möglich, gleichzeitig die an mehreren Stellen hervorgerufene Aktivität zu messen, es sei denn, es sind entsprechend viele Zählrohranordnungen vorhanden.

Beide Nachteile treten bei einer Autoradiographie nicht auf. Man kann gleichzeitig an den verschiedenen Stellen des Moderators Proben aktivieren, sie zusammen nachher auf den gleichen Film legen und dort ihre Aktivität gleich lang auf die photographische Schicht wirken lassen. Da der Nulleffekt beim Film sehr klein ist, so kann die Zeitdauer der Einwirkung derart gross gewählt werden, dass praktisch die ganze Aktivität ausgenutzt wird. Für die Messung der Schwärzung auf dem entwickelten Film genügt eine kleine

Fläche. Daher brauchen die Proben nicht gross zu sein. Allerdings kann nur mit Hilfe eines Eichverfahrens aus der Schwärzung auf die Aktivität und damit auf die Neutronenstromdichte geschlossen werden. Wie weitgehend die Autoradiographie als Messmethode verwendet werden kann, hängt gerade von dieser Eichung ab. Der Zweck dieser Arbeit ist, zu untersuchen, wie weit es möglich ist, quantitative Autoradiographie zu treiben. Versuche, welche sich mit der Neutronenverteilung in Moderatoren beschäftigen, sind in unserm Institut im Gange und es wird über sie später berichtet werden. In § 2 wird diskutiert, in welchem Fall die Autoradiographie zweckmässig verwendet werden kann. § 3 behandelt einige technische Einzelheiten. § 4 beschäftigt sich mit dem Reziprozitätsgesetz. In § 5 werden Versuche über die Ermittlung der Halbwertszeit von  $\text{Au}^{198}$ , in § 6 solche über den Absorptionskoeffizienten der  $\beta$ -Strahlen von  $\text{Au}^{198}$  mitgeteilt.

§ 2. Eine Substanz in Form eines Bleches der Fläche  $F$  soll während  $t_0$  Sekunden durch den Fermiprozess aktiviert werden. Pro  $\text{cm}^2$  der Fläche mögen  $\Phi$  Neutronen pro Sekunde auffallen. Die Dicke des Bleches sei gross gegenüber  $d = 1/\mu$ , wobei  $\mu$  der Absorptionskoeffizient der  $\beta$ -Strahlen des gebildeten radioaktiven Isotops bedeutet. Dann ist die Zahl der in der Schicht  $d$  nach Ablauf der Aktivierung vorhandenen radioaktiven Atome gegeben durch

$$v_0 = \frac{\Phi \cdot \sigma \cdot d \cdot F}{\lambda} \cdot \frac{N_A}{A} (1 - e^{-\lambda t_0}) \quad (1)$$

Dabei bedeutet  $\sigma$  der Wirkungsquerschnitt der Neutronen für den Fermiprozess,  $\lambda$  die Zerfallskonstante und  $N_A$  die Zahl von Avogadro. Die Dicke  $d$  ist in  $\text{g/cm}^2$  einzusetzen. Es ist ersichtlich, dass für einen gegebenen Neutronenfluss die Zahl der radioaktiven Atome um so grösser ist, je kleiner  $\lambda$ . Ist daher bei der nachträglichen Messung ein kleines  $\lambda$  nicht von Nachteil, so ist es zweckmässig, Substanzen mit grosser Halbwertszeit zu verwenden.

Lässt man die  $\beta$ -Strahlen des aktivierten Bleches auf ein Zählrohr fallen, das den Raumwinkel  $\Omega$  ausnützt und dessen Wandung die Durchlässigkeit  $D$  für die  $\beta$ -Strahlen besitzt, so ist die Stosszahl pro Sekunde  $t'$  Sekunden nach Abschluss der Aktivierung gegeben durch

$$n = \frac{\Phi \cdot \sigma \cdot d \cdot F \cdot \Omega}{4 \pi} D \frac{N_A}{A} (1 - e^{-\lambda t_0}) e^{-\lambda t'} \quad (2)$$

Dabei ist angenommen worden, dass der Absorptionskoeffizient der Neutronen wesentlich kleiner als der der  $\beta$ -Strahlen sei. Die sekund-

liche Stosszahl ist in erster Linie bestimmend dafür, ob es zweckmässig ist, eine Messung der Aktivität mit einem Zählrohr vorzunehmen, denn sie muss im Vergleich zu den Nullstössen einen gewissen Betrag nicht unterschreiten.

Legen wir dagegen nach Abschluss der Aktivierung das Präparat auf einen Film, um eine Autoradiographie zu erhalten und lassen wir es während  $t$  Sekunden auf den Film einwirken, so wird die Zahl  $N$  der pro  $\text{cm}^2$  auf die photographische Schicht fallenden  $\beta$ -Strahlen durch folgenden Ausdruck gegeben sein:

$$N = \frac{\Phi \cdot \sigma \cdot d}{2 \lambda} \cdot \frac{N_A}{A} \cdot z \quad (3)$$

wobei

$$z = (1 - e^{-\lambda t_0}) (1 - e^{-\lambda t})$$

ist. Vergleicht man die Formeln (2) und (3) miteinander, so ist zu übersehen, in welchen Fällen die Autoradiographie die Zählrohrmethode ersetzen kann.

1. Das Präparat ist sehr klein. Die Stosszahl ist in diesem Fall auch entsprechend klein. Bei der Autoradiographie spielt dagegen die Fläche keine Rolle. Das Präparat kann sehr klein sein, es muss nur grösser als der Photometerfleck sein.

2. Der Raumwinkel ist bei einer Zählrohranordnung im allgemeinen kleiner als  $2\pi$ . Je kleiner er ist, um so ungünstiger ist das Zählrohr. Bei der Autoradiographie besitzt er aber automatisch den maximalen Wert  $2\pi$ .

3. Die  $\beta$ -Strahlen sind sehr weich. Damit wird die Durchlässigkeit des Zählrohrs klein und entsprechend auch die Stosszahl.

4. Die Grösse der Zerfallskonstanten spielt für die sekundliche Stosszahl direkt insofern eine Rolle, als sie in den beiden  $e$ -Faktoren enthalten ist. Indirekt bestimmt sie auch  $D$ , weil im allgemeinen bei einem kleinen  $\lambda$  die  $\beta$ -Strahlen weich sind. Beim Zählrohr sind daher Substanzen mit kleinem  $\lambda$  ungeeignet. Bei der Autoradiographie dagegen sind gerade Strahler mit kleinem  $\lambda$  vorteilhaft und um so günstiger, je kleiner  $\lambda$  ist, da  $\lambda$  im Nenner von (3) steht. Natürlich muss der Zeitfaktor  $z$  nicht zu klein werden. Es lässt sich aber bei der Autoradiographie leicht ein genügend grosses  $z$  erreichen, da der Film, im Gegensatz zu einer Zählordnung, eine auch während langer Zeit völlig konstant arbeitende Registriervorrichtung darstellt.

5. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Autoradiographie besteht auch darin, dass das Ergebnis eines Versuches immer in Form eines anschaulichen Dokuments vorliegt, an dem man nachträglich beliebige Kontrollen ausführen kann.

§ 3. Bei den folgenden Versuchen wurde als Neutronenquelle ein Ra-Be-Präparat von 80 mg Ra verwendet. Verlangsamt wurden die Neutronen in einem Paraffinblock oder in Wasser. Als zu aktivierende Substanz wurde Gold gewählt, das für eine Autoradiographie sehr zweckmässig ist. Nach SAXON<sup>1)</sup> besitzt mit langsamen Neutronen aktiviertes Gold eine einzige Zerfallskonstante entsprechend einer mittleren Lebensdauer von rund vier Tagen. Gold kann direkt auf den Film gelegt werden, ohne dass eine Störung befürchtet werden muss. Verwendet wurden entweder dünne Goldstreifen oder Goldstücke<sup>2)</sup>.

Zur Aufnahme der Autoradiographie wurden im allgemeinen beidseitig von den bestrahlten Goldstücken je zwei Röntgenfilme gebracht, so dass für einen Versuch vier Filme erhalten wurden. Zwei der Filme erhielten allerdings die  $\beta$ -Strahlen erst nach Durchgang

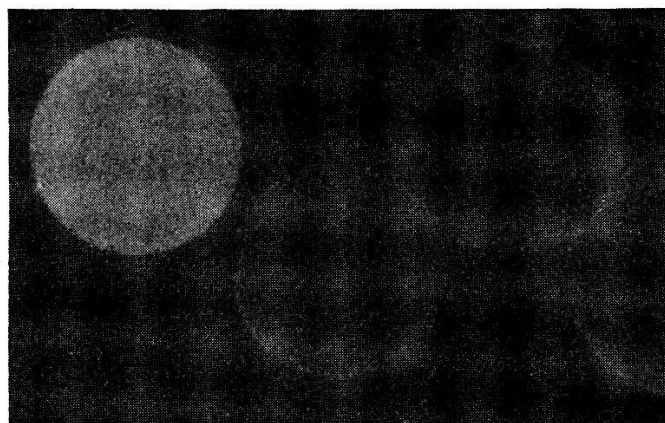


Fig. 1.

Autoradiographie einiger Goldmünzen, welche in Form einer Rolle durch Neutronen aktiviert wurden. Oberste Münze links.

durch einen Film. Durch Vergleich der Schwärzungen dieser Filme mit denen der Filme, welche auf den Goldproben direkt auflagen, liess sich gleichzeitig eine Bestimmung des Absorptionskoeffizienten der  $\beta$ -Strahlen ausführen (vgl. § 6). Als Filme wurden Du Pont Extrafast und Kodak Ultraspeed verwendet. Andere Röntgenfilme waren am Platze nicht erhältlich. Entwickelt wurde mit den für diese Filme passenden Substanzen. Die Entwicklungsdauer lag im allgemeinen rund 20% über der als normal betrachteten.

In Figur 1 ist die Autoradiographie einiger Goldstücke wiedergegeben, welche als kleine Rolle in Paraffin aktiviert worden sind. Es ist ersichtlich, dass auch bei dem obersten Stück die Aktivität

<sup>1)</sup> D. SAXON, Phys. Rev. **73**, 811, 1948.

<sup>2)</sup> Die Anwesenheit von Cu wirkt nicht störend.



am Rande etwas stärker ist als in der Mitte des Stückes. Ähnliches findet man, auch wenn nicht so ausgeprägt, wenn ein einzelnes Stück aktiviert wird. Daher wurde zwischen Münzen und Film jeweils ein Messingblech von 0,5 mm Dicke gebracht, in dem kreisrunde Öffnungen von 13 mm sich befanden. Damit wurde erreicht, dass nur  $\beta$ -Strahlen der Münzenmitten auf den Film fielen. Die erzielte Schwärzung war dann sehr gleichmässig.

Um Intensitäts-Schwärzungsmarken zu erhalten, wurde meistens folgendermassen vorgegangen. Das aktivierte Stück wurde während der Einwirkungsdauer ein- oder zweimal derart verschoben, dass die gesamte Verschiebung kleiner war als die Ausdehnung der Öffnung in der Messingblende. Es wurde also eine Stelle des Films während der ganzen Zeit  $t$  bestrahlt, die andern aber entsprechend weniger lang. Fig. 2 zeigt das Resultat für den Fall, dass zwei Verschiebungen vorgenommen wurden. Man erhält in diesem Fall

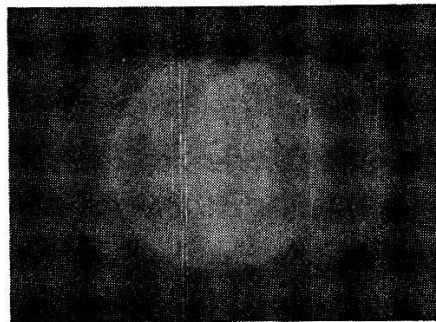


Fig. 2.

Intensitätsmarken, erzielt durch zweimalige Verschiebung einer durch Neutronen aktivierten Goldmünze. Die Randteile der Münzen sind bei dieser Autoradiographie nicht abgeblendet.

5 verschiedene Schwärzungen. Die zu jeder dieser Schwärzungen gehörenden relativen  $\beta$ -Intensitäten lassen sich leicht ausrechnen, wenn man die Halbwertszeit des Strahlers kennt. Allerdings ist die Zuordnung von Schwärzungen zu  $\beta$ -Strahlintensitäten nach dieser Methode nur erlaubt, wenn zur Erzielung einer Schwärzung nur die Grösse  $N$  und nicht die Zeit, während der  $N$  emittiert wird, bestimmend ist, d. h. wenn das sogenannte Reziprozitätsgesetz gilt. Im allgemeinen wird angenommen, dass dies der Fall ist<sup>1)</sup>. Trotzdem haben wir besondere Versuche unternommen, um festzustellen, ob in unserm Fall das Reziprozitätsgesetz genau stimmt. Auch wurde die Halbwertszeit von Gold mit unserer Methode kontrolliert.

<sup>1)</sup> Siehe z. B. O. KLEMPERER, Einführung in die Elektronik, Berlin, Springer 1933.

§ 4. Aktiviert man eine Substanz während der Zeit  $t_1$  und lässt man die  $\beta$ -Strahlung während der Zeit  $t_2$  auf die photographische Schicht einwirken, so ist die Zahl der während der Zeit  $t_2$  emittierten  $\beta$ -Strahlen nach (3) gleich gross, wie wenn man die Substanz während der Zeit  $t_2$  aktiviert und dafür während der Zeit  $t_1$  auf den Film wirken lässt. Falls das Reziprozitätsgesetz gilt, so müssen auch die Schwärzungen die gleichen sein.

Das Verfahren zur Untersuchung der Gültigkeit des Reziprozitätsgesetzes war somit das folgende: In einen zylindrischen Paraffinblock von 10 cm Durchmesser, welcher in ein mit Wasser gefülltes Akkumulatoren- und Glas von  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup> Grundfläche getaucht wurde, konnte in der Mitte der oberen Fläche die Neutronenquelle eingesteckt werden. In vier in etwa gleichem Abstand von der Quelle angebrachten Schlitzes wurden vier Goldstücke zur Aktivierung gebracht. Die gut gereinigten Goldstücke wurden zum Schutz mit dünner Aluminiumfolie umgeben. Zunächst wurden alle vier Goldstücke während 2 Tagen aktiviert und nachher während 5 Tagen auf zwei Filme gelegt und mit zwei Filmen zugedeckt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Seiten der Goldstücke, welche der Quelle zugewandt waren, auf den gleichen Film zu liegen kamen. In diesem Vorversuch konnte festgestellt werden, wie verschieden sich die einzelnen Münzenplätze in bezug auf den Neutronenfluss verhielten. Es zeigte sich, dass die Vorderseiten der Münzen bis auf 1–3% gleiche Schwärzungen ergaben, bei der Rückseite waren die Unterschiede etwas grösser. Dann wurde der Versuch mit vier unbestrahlten Münzen wiederholt. Aber nur zwei der Stücke (z. B. 1 und 3) wurden nach zwei Tagen auf den Film gelegt, die übrigen zwei Stücke (2 und 4) wurden weitere drei Tage aktiviert. Damit für diese der Neutronenfluss gleich blieb, wurden an die leeren Plätze zwei unbestrahlte Stücke (1' und 3') eingesetzt. Nach Ablauf der drei Tage wurden die vier Münzen auf den gleichen Film gelegt, auf dem sich die beiden Münzen 1 und 3 bereits befanden. Dann wurden noch während zwei Tagen alle Stücke zusammen auf den Filmen gelassen. Für zwei Münzen (1 und 3) war somit  $t_1 = 2$  und  $t_2 = 5$  Tage, für die andern zwei (2 und 4) war umgekehrt  $t_1 = 5$  und  $t_2 = 2$  Tage. Für die zwei zuletzt eingesetzten Stücke (1' und 3') war  $t_1 = 3$  und  $t_2 = 2$  Tage. Diese beiden Stücke ergaben zusammen mit den Stücken 2 und 4 die Möglichkeit einer Eichung ohne Voraussetzung des Reziprozitätsgesetzes. Gleichzeitig wurde aber auch eine Eichung mit Hilfe der Verschiebungsmethode vorgenommen. Dazu wurden die Münzen 1 und 3 nach drei Tagen Einwirkung etwas verschoben, so dass ihre  $\beta$ -Strahlung

während der letzten zwei Tagen zum Teil auf eine unbestrahlte Filmstelle fiel. Bevor wir die Ergebnisse, welche diese Eichversuche ergaben, besprechen, seien die Resultate, welche auf das Reziprozitätsgesetz Bezug haben, wiedergegeben. Bedeutet  $S_1$  die beobachtete Schwärzung, falls die Aktivierung 2, die Filmbestrahlung, 5 Tage betrug,  $S_2$  dagegen den umgekehrten Fall, so ergab sich als Mittelwert aus 16 verschiedenen Einzelwerten

$$S_1 : S_2 = 0,976 \pm 0,014$$

Das Reziprozitätsgesetz ist somit nahezu erfüllt bei einem Verhältnis der Bestrahlungsdauer von 5 zu 2, gleiche Zahl von  $\beta$ -Strahlen vorausgesetzt. Die Versuche, bei denen die Bestrahlungsdauer im Verhältnis 3 zu 2 war, ergaben aus 7 Einzelwerten als Verhältnis der beiden Schwärzungen den Wert  $1,01 \pm 0,04$ .

Die gute Gültigkeit des Reziprozitätsgesetzes erlaubt es, die bequeme Verschiebungsmethode für die Festlegung der Beziehung zwischen Schwärzung und Zahl der  $\beta$ -Strahlen zu verwenden. Zur Illustration dieser Eichbeziehung seien die Resultate eines einzigen Filmes (11,3) des eben besprochenen Versuches in folgender Tabelle wiedergegeben.

$z$	0,074	0,281	0,206	0,281	0,206
$S_{\text{beob}} \begin{cases} 1 \\ 3 \end{cases}$	0,0496 0,0470	0,1776 0,1736	0,1280 0,1338		
$S_{\text{beob}} \begin{cases} 2 \\ 4 \end{cases}$				0,1701 0,1607	
$S_{\text{beob}} \begin{cases} 1' \\ 3' \end{cases}$					0,1288 0,1173
$\bar{S}_{\text{korrr}}$	0,0501	0,1863	0,1354	0,1790	0,1280
$\Delta \bar{S}_{\text{korrr}}$	0,0030	0,0050	0,0045	0,0035	0,0050
$s = \bar{S}_{\text{korrr}}/z$	0,675	0,664	0,658	0,637	0,630
$\Delta s$	0,020	0,009	0,003	0,018	0,035

In der ersten Zeile ist der Zeitfaktor  $z$  angegeben. Dann folgen die beobachteten Schwärzungen für die verschiedenen Münzen. Jede Schwärzung wurde dann mit dem vorherbestimmten Umrechnungsfaktor auf gleichen Neutronenfluss umgerechnet und das Mittel  $\bar{S}_{\text{korrr}}$  gebildet. In  $\bar{S}_{\text{korrr}}$  ist die kleine Abweichung vom Reziprozitätsgesetz berücksichtigt.  $\Delta \bar{S}$  gibt die Abweichung der beiden  $S_{\text{korrr}}$ -Werte vom Mittel. Diese Grösse gibt einen Anhaltspunkt für die Genauigkeit der Bestimmung einer einzigen Schwärzung. Sie liegt im allgemeinen unter 4%. Der Fehler rührt zum Teil her von



der Ungenauigkeit des Umrechnungsfaktors der verschiedenen Münzenplätze auf gleichen Neutronenfluss, zum Teil von Unregelmässigkeiten der Schwärzung bzw. der unbestrahlten Filmstellen, hervorgerufen durch die Entwicklung. Wenn man bedenkt, dass man gleichzeitig für jede Münze vier Filme und somit vier Schwärzungen erhält, so ergibt sich für die Bestimmung einer Aktivität ein Fehler, welcher unter 2% liegt. Falls man auf einen Film mehrere Präparate gleicher Stärke legt, so lässt sich die Genauigkeit noch etwas steigern. Es lässt sich somit mit der Autoradiographie eine Genauigkeit erzielen, welche gleich ist wie diejenige, welche man mit einer Zählrohranordnung erreicht. (Nach SEREN und Mitarbeitern<sup>1)</sup> ist die Genauigkeit, mit der man die Aktivität einer Probe mit dem Zählrohr im günstigsten Fall messen kann, rund 2%). Die zweitletzte Zeile enthält die Grösse  $s = \bar{S}_{\text{kor}}/z$ . Es ist ersichtlich, dass  $s$  nahezu gleich gross ist und um den Mittelwert 0,655 schwankt. (Die letzte Zeile enthält die Abweichung gegenüber dem Mittelwert.) Das heisst somit, die Schwärzungen sind proportional der Gesamtzahl der auffallenden  $\beta$ -Strahlen, wir befinden uns im linearen Teil der Schwärzungskurven. Beachtenswert ist namentlich der sehr gut konstante Wert von  $s$  für die Münzen 1 und 3, d. h. für die Schwärzungen, welche durch eine Verschiebung der gleichen Münze erhalten wurden. Ähnliches ergab sich auch aus andern Filmen. Als Beispiel sei  $s$  noch für die Filme 10/2 und 10/3 angeführt. Film 10/2 ist wieder Kodak Ultraspeed, 10/3 ist ein Du-Pont-Film.

$z$	0,074	0,281	0,207
10/2 . . $s$	0,615	0,614	0,625
10/3 . . $s$	0,473	0,462	0,427

Beide Filme stammen vom gleichen Versuch und wurden zusammen entwickelt. Auch wenn man berücksichtigt, dass Film 10/2 durch die Vorderseite, 10/3 durch die Rückseite der Münzen bestrahlt wurde, so ergibt sich doch, dass auf dem Kodakfilm eine etwas grössere Schwärzung erhalten wird als auf dem Du-Pont-Film. Natürlich hängt  $s$  stark von der Entwicklungsdauer ab.

Da  $s$  auch die Schwärzung bedeutet für einen Zeitfaktor vom Werte 1, so ist ersichtlich, dass die Schwärzungen, welche man mit einer Neutronenquelle der angegebenen Stärke und Gold als zu aktivierende Substanz erhalten kann, recht beträchtlich sind, wenn der Zeitfaktor nicht zu sehr unter 1 liegt.

<sup>1)</sup> L. SEREN et al. Phys. Rev. **72**, 888, 1947.

§ 5. Bestimmung der Halbwertszeit von  $\text{Au}^{198}$ . Es ist klar, dass man mit der Autoradiographie keine Zerfallskurve aufnehmen wird, um eine Halbwertszeit zu bestimmen. Wir haben folgende zwei Methoden gewählt. Bei der ersten Methode wird die Gültigkeit des Reziprozitätsgesetzes nicht vorausgesetzt. Es wurden zwei Münzen ( $a, a'$ ) in gut definierten Stellen des Moderators mit langsamen Neutronen während der Zeit  $t_1$  aktiviert. Nach der Aktivierung wurden diese Münzen nicht sofort auf den Film gelegt. Es wurde vielmehr ihre Aktivität während der Zeit  $t'$  abklingen gelassen. Zwei weitere Münzen ( $b$  und  $b'$ ) wurden derart später an die freigewordenen Stellen gebracht und während der Zeit  $t_2$  aktiviert, dass das Ende der beiden Zeiten  $t'$  und  $t_2$  zusammenfielen. Die Münzen ( $a, a'$ ) und ( $b, b'$ ) wurden zusammen nachher auf die Filme gelegt und dort gleichlang gelassen. Als Zeitintervalle wurden zum Beispiel in einem Fall (Versuch I) gewählt: für die Münzen ( $a, a'$ )  $t_1 = 48$  h und  $t' = 48$  h und für die Münzen ( $b, b'$ )  $t_2 = 26$  h 35 m. In einem andern Versuch (II) war  $t_1 = 65$  h und  $t' = 55$  h und  $t_2 = 31$  h. Das Verhältnis der Zahl der während der photographischen Einwirkung emittierten  $\beta$ -Strahlen  $N_a$  (emittiert von Münzen  $a, a'$ ) zu  $N_b$  (emittiert von Münzen  $b, b'$ ) wurde dann für folgende Halbwertszeiten berechnet:

Halbwertszeit		2,5	2,75	3,00 Tage
$N_a/N_b$	I	0,92	0,98	1,04
	II	0,935	0,995	1,06

Gefunden wurde experimentell für das Verhältnis der Schwärzungen, welches nach dem vorhergehenden § sehr genau gleich dem Verhältnis der  $N$  ist, für den Versuch I  $0,98 \pm 0,04$  und für II  $1,008 \pm 0,02$ . Durch Interpolation findet sich die zugehörige Halbwertszeit zu  $2,75 \pm 0,15$  Tage für I und  $2,81 \pm 0,08$  Tage für II.

Bei einem andern Versuch wurden aktivierte Münzen auf den Film gelegt und nach 48 h 20 m auf eine unbestrahlte Filmstelle verschoben und dort während 153 h 20 m belassen. Als Verhältnis der beiden Schwärzungen wurde die Zahl 0,98 gefunden. Korrigiert man wegen der Tatsache, dass das Reziprozitätsgesetz nicht exakt gilt, so findet man das Verhältnis 0,956. Daraus ergibt sich eine Halbwertszeit von  $2,74 \pm 0,12$  Tage. Als Mittelwert aus den drei angegebenen Versuchen folgt somit eine Halbwertszeit von  $2,77 \pm 0,06$  Tage. Dieser Wert stimmt sehr gut mit den bekannten Werten der Literatur überein (2,70 nach SEREN, l. c., 2,66 nach SAXON, l. c., und 2,76 nach INONANDA<sup>1)</sup>).

<sup>1)</sup> S. INONANDA, Phys. Rev. **70**, 812, 1946.

§ 6. Es ist bekannt, dass  $\beta$ -Strahlen durch nicht zu dicke Materieschichten genähert nach einem Exponentialgesetz absorbiert werden. Der Absorptionskoeffizient lässt sich mit unserer Film-anordnung leicht bestimmen, wenn man auf jede Seite der Münze zwei oder mehrere Filme legt. Wir haben je zwei Filme verwendet und folgende Resultate gefunden: In Versuch 10 verhalten sich die Schwärzungen der Aussenfilme zu jenen der Innenfilme wie  $(0,50 \pm 0,016):1$ . Da die Filme zusammen entwickelt wurden, können wir den gleichen Faktor  $s$  annehmen. Es erhält somit ein Aussenfilm 50% der  $\beta$ -Strahlen, welche auf den Innenfilm fallen. Entsprechendes ergab sich auch aus Versuch 12:  $(0,498 \pm 0,008):1$ . Etwas grössere Zahlen  $(0,52:1)$  ergaben sich für die Du-Pont-Filme. Da  $1 \text{ cm}^2$  der Filme  $31,9 \text{ mg}$  wiegt, folgt ein Massenabsorptionskoeffizient für die  $\beta$ -Strahlen von  $21,8 \text{ cm}^2/\text{g}$  (aus den Werten für den Kodakfilm) und  $20,5 \text{ cm}^2/\text{g}$  (Du-Pont-Film). In der zitierten Arbeit von L. SEREN und Mitarbeitern wird der Wert in guter Übereinstimmung mit  $19,3 \text{ cm}^2/\text{g}$  angegeben.

Frau D. TALIBHAN ELBRUS danke ich für ihre Hilfe bei den photometrischen Messungen.

Universität Istanbul, Institut für Experimentalphysik.

---